

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6188269号
(P6188269)

(45) 発行日 平成29年8月30日(2017.8.30)

(24) 登録日 平成29年8月10日(2017.8.10)

(51) Int.Cl.

F 1

B 0 1 D 53/62 (2006.01)
F 0 1 K 27/02 (2006.01)B 0 1 D 53/62
F 0 1 K 27/02

Z A B Z

請求項の数 16 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2010-541788 (P2010-541788)
 (86) (22) 出願日 平成21年1月9日 (2009.1.9)
 (65) 公表番号 特表2011-523583 (P2011-523583A)
 (43) 公表日 平成23年8月18日 (2011.8.18)
 (86) 國際出願番号 PCT/EP2009/050205
 (87) 國際公開番号 WO2009/087210
 (87) 國際公開日 平成21年7月16日 (2009.7.16)
 審査請求日 平成23年12月21日 (2011.12.21)
 審判番号 不服2015-18824 (P2015-18824/J1)
 審判請求日 平成27年10月19日 (2015.10.19)
 (31) 優先権主張番号 08100390.7
 (32) 優先日 平成20年1月11日 (2008.1.11)
 (33) 優先権主張国 歐州特許庁 (EP)

(73) 特許権者 515322297
 ゼネラル エレクトリック テクノロジー
 ゲゼルシャフト ミット ベシュレンク
 テル ハフツング
 General Electric Technology GmbH
 スイス国 バーデン ブラウン ボウェリ
 シュトラーセ 7
 Brown Boveri Strasse 7, CH-5400 Baden,
 Switzerland
 (74) 代理人 100129779
 弁理士 黒川 俊久
 (74) 代理人 100137545
 弁理士 荒川 聰志

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 CO₂の回収および圧縮を用いた発電プラント

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

制御システム(18)と、煙道ガスからのCO₂回収システムとを備えた発電プラント(1)を運転するための方法であつて、

前記CO₂回収システムの動作のための電力消費が、前記制御システム(18)により制御される前記発電プラント(1)の有効電力出力(D)のための制御パラメータとして使用され、

前記発電プラント(1)が電力を供給する先の送電網の周波数が不足している間、前記CO₂回収システムの前記電力消費を低減させる制御をすることによって、前記有効電力出力(D)が増加される、

ことを特徴とする方法。

【請求項 2】

CO₂回収システムが、送電網に補助的電力を供給するため低減された容量で運転されるかあるいは停止されることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項 3】

CO₂回収システムが運転中であり、CO₂回収システムの電力消費が発電プラントの周波数応答のために使用できる場合に、発電プラント(1)が、CO₂回収システムが通常運転中の状態にある負荷としてのベース負荷で運転されることを特徴とする請求項1または2に記載の方法。

【請求項 4】

10

20

CO₂回収率が、前記周波数が不足している間にCO₂回収システムの電力消費を制御するために変化することを特徴とする請求項1～3のいずれか一つに記載の方法。

【請求項5】

前記CO₂回収システムが、回収されたCO₂を圧縮するためのCO₂圧縮ユニット(9)を備え、

前記CO₂圧縮ユニット(9)が、前記周波数が不足している間に停止されるかあるいは低減された容量で運転されることを特徴とする請求項1～4のいずれか一つに記載の方法。

【請求項6】

前記CO₂回収システムが、回収されたCO₂を圧縮するためのCO₂圧縮ユニット(9)を備え、

前記CO₂圧縮ユニット(9)が、周波数が不足している間に停止されるかあるいは低減された容量で運転されること、および回収されたCO₂の一部あるいは全てが、周波数が不足している間に前記CO₂圧縮ユニットのバイパス(12)を経由して放出されることを特徴とする請求項1～5のいずれか一つに記載の方法。

【請求項7】

前記CO₂回収システムを構成するCO₂回収ユニット(2)に構成された、CO₂吸収剤もしくはCO₂吸着剤を再生するための再生ユニットが、周波数が不足している間に停止されるかあるいは低減された容量で運転されることを特徴とする請求項1～6のいずれか一つに記載の方法。

20

【請求項8】

前記CO₂回収システムを構成するCO₂回収ユニット(2)に構成された吸収あるいは吸着ユニットが、周波数が不足している間に停止されるかあるいは低減された容量で運転されることを特徴とする請求項1～7のいずれか一つに記載の方法。

【請求項9】

前記CO₂回収システムを構成するCO₂回収ユニット(2)に構成された吸収あるいは吸着ユニットが、周波数が不足している間に停止されるかあるいは低減された容量で運転されること、および

煙道ガスの一部あるいは全てが、周波数が不足している間に前記CO₂回収ユニット(2)用の煙道ガスバイパス(11)を経由して放出されることを特徴とする請求項1～8のいずれか一つに記載の方法。

30

【請求項10】

前記CO₂回収システムを構成するCO₂回収ユニット(2)に構成された、CO₂吸収剤もしくはCO₂吸着剤を再生するための再生ユニットの蒸気(13)の消費が、再生ユニットが停止されること、あるいは低減された容量で運転されることに起因して低減され、余った蒸気が、前記送電網の周波数が不足している間、補助的電力生産のために発電プラント(1)の蒸気タービンに供給される、

ことを特徴とする請求項7に記載の方法。

【請求項11】

周波数が不足している間に、吸収剤もしくは吸着剤の再生が停止されるかあるいは低減された容量で吸収剤もしくは吸着剤の再生が行われること、および

40

貯留された吸収剤、あるいは吸着剤がCO₂回収のために周波数が不足している間に使用されることを特徴とする請求項10に記載の方法。

【請求項12】

請求項1～11のいずれか一つに記載の方法を実施するための発電プラント(1)において、発電プラント(1)が、少なくとも制御システム(18)および煙道ガスからのCO₂回収システムを備えていることを特徴とする発電プラント(1)。

【請求項13】

少なくとも一つの蒸気タービンが、用いられる蒸気流の全てを、CO₂回収システムのスイッチを切った状態で発電プラントにより生産されうるエネルギーに転換するように制

50

御されていることを特徴とする請求項 1 2 に記載の発電プラント (1)。

【請求項 1 4】

少なくとも一つの発電機と、CO₂回収システムの電気システムが、CO₂回収システムのスイッチを切った状態で生産される最大パワーを電力に転換し、この電力を送電網に送るように制御されていることを特徴とする請求項 1 2 または 1 3 に記載の発電プラント。

【請求項 1 5】

回収されたCO₂を圧縮するためのCO₂圧縮ユニット (9) および / またはCO₂の回収ユニット (2) のバイパス (1 2 , 1 1) が設けられていることを特徴とする請求項 1 2 ~ 1 4 のいずれか一つに記載の発電プラント。

10

【請求項 1 6】

吸収ユニットが、運転中ではない場合にでも煙道ガス (1 5) に耐性があるように作られていることを特徴とする請求項 1 2 ~ 1 5 のいずれか一つに記載の発電プラント。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、CO₂の回収および圧縮を用いた発電プラント、ならびに周波数応答時の発電プラントの運転に関する。

【背景技術】

20

【0 0 0 2】

近年、温室効果ガスの発生により地球温暖化が起こることや、また温室効果ガスの生成の増大により、さらに地球温暖化が加速することが明らかとなっている。CO₂ (二酸化炭素) は主たる温室効果ガスとして認識されているため、CCS (炭素回収および貯留) は、温室効果ガスの大気中への放出を減少させ、地球温暖化を制御する有力な手段のうちの一つと見なされている。この文脈においては、CCSは、CO₂の回収、圧縮、輸送及び貯留の工程と定義する。回収は、炭素系燃料の燃焼後の煙道ガスのいずれかからCO₂を除去する工程、もしくは燃焼前の炭素の除去及び処理と定義する。あらゆる吸収剤、吸着剤の再生、もしくは炭素のCO₂を煙道ガスもしくは燃料ガス流から除去する他の手段は、回収処理の一部と見なす。発電プラントにおけるCO₂回収には、いくつかの可能なアプローチがある。CO₂回収に関する検討中の主な技術は、いわゆる燃焼前回収、酸素燃焼 (oxygen firing) 、ケミカルループ及び燃焼後回収である。

30

【0 0 0 3】

燃焼前炭素回収は、燃料を燃やす前の全炭素含有量もしくはその一部の除去を含む。天然ガスに関しては、これは一般に蒸気で改質し、その後シフト反応によってCO₂及び水素を生成することによって行われる。CO₂は、得られたガス混合物から回収及び除去することができる。その後水素を使用して、有用なエネルギーを生成することができます。この処理は、合成ガスアプローチとしても知られている。石炭もしくはあらゆる化石燃料に同じアプローチを使用することができます。まず燃料をガス化し、次に天然ガスと同じ方法で処理する。IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle : ガス化複合発電) と組み合わせたこのアプローチの用途が予見されている。

40

【0 0 0 4】

オキシファイアリング (別名 純酸素燃焼 (oxygen fuel firing) もしくは酸素燃焼 (oxygen combustion)) は、石炭もしくは他の化石燃料を、空気中ではなく、酸素と再循環したCO₂の混合物中で燃やす技術である。この技術は、濃縮CO₂の煙道ガス及び蒸気を生成する。これより、単に、燃焼反応の副生成物である水蒸気を凝縮することによってCO₂を分離することが出来る。

【0 0 0 5】

化学ループ燃焼法は、金属酸化物、一般的には燃焼空気から燃料へ酸素を伝達する金属

50

酸化物を、酸素担体として用いる。燃焼による生成物は、CO₂、還元金属酸化物及び蒸気である。水蒸気を凝縮した後、輸送及び貯留のためCO₂流を圧縮してもよい。

【0006】

現在大規模な工業的応用に最も近いとされているCCS技術は、圧縮、輸送及び貯留と組み合わせた燃焼後回収である。燃焼後回収では、煙道ガスからCO₂を除去する。残っている煙道ガスは大気中に放出され、CO₂は輸送及び貯留のため圧縮される。煙道ガスからCO₂を除去する、吸収、吸着、膜分離、及び深冷分離等の、いくつかの既知の技術が存在する。

【0007】

CO₂回収圧縮のための既知の技術は全て、比較的大量のエネルギーを必要とする。これらの処理を発電プラントとして統合することによる異なる処理及び電力及び性能ペナルティの最適化に関する多くの出版物がある。 10

【0008】

燃焼後回収によるCCSの場合、さらなる処理、つまり、輸送及び貯留を行うためのCO₂回収及びCO₂の圧縮は、CCSの無い従来の発電プラントに対する、発電プラントの正味電力出力の減少に関する主たる理由である。

【0009】

特許文献1は、燃焼後回収やCO₂吸収による電力出力ペナルティーを減少させる方法や吸収液の再生の実施例をそれぞれ挙げている。ここでは、吸収剤を再生するため、発電プラントの蒸気タービンの異なる段落から蒸気を抽出して、タービンの出力の低下を最小限に抑えることが提案されている。 20

【0010】

同じ背景において、特許文献2は、吸収剤を再生するためのCO₂流を圧縮することから生じる圧縮熱を用いることを提案している。

【0011】

これらの方法は、特定のCO₂回収設備の所要電力を減少させることを目的とするが、しかしながら、提案されたCO₂回収方法を用いると、常に、プラント容量、つまり、プラントが送電網へ出力可能な最大電力の大幅な低下が起こる。

【0012】

CO₂回収がプラント出力に及ぼす影響 (impact) を軽減する第一の試みが、特許文献3に記載されている。ここでは、煙道ガスからCO₂を回収するための吸収剤を利用する発電プラントが記載されており、このプラントでは、再生機を電力需要が高い時間はオフにし、これらの時間に吸収剤タンクに保管した吸収剤を用いることによってCO₂回収を続けることを記載している。特許文献3は、CO₂回収設備の1つの電力消費減の単純なON/OFFモードを記載している。それは、比較的高コストで非常にわずかな運転柔軟性しか得られない。 30

【0013】

周波数応答は発電プラントの運転にとって重要な問題であり、さらにCO₂の回収および圧縮による発電プラントのために考慮される必要がある。特許文献4には周波数応答の基本原理が記載されており、送電網 (grid) は公称周波数周辺で変動する送電網の周波数 (grid frequency) を有している。制御周波数が公称周波数以下に低下すると電力出力が増加し、他方では制御周波数が前記公称周波数以上に上昇すると電力出力が減少するように、前記発電プラントの電力出力は制御周波数の関数として制御される。送電網の周波数は連続的に測定される。特許文献4には送電網の周波数を平均化し、かつ制御周波数として測定された送電網の周波数を使用するための有利な方法が記載されているが、この方法はガスタービンの電力出力制御の従来の制御機構に対して限定されている。周波数が不足していることに対する応答を可能にするために、発電プラントはいつも部分負荷運転をしなければならない。 40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0014】

【特許文献1】欧州特許公開公報第1688173号

【特許文献2】国際特許出願公開第2007/073201号明細書

【特許文献3】欧州特許公開公報第号0537593号

【特許文献4】欧州特許公開公報第号0858153号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0015】

本発明の主たる課題は、CO₂の回収および圧縮を用いた発電プラントのための運転方法の周波数応答を最適化することである。本発明の別の課題は、最適化された運転方法に従い運転するために設計されたCO₂の回収および圧縮システムを用いた発電プラントである。

10

【課題を解決するための手段】

【0016】

課題の一つは、プラントの柔軟性を増し、従ってCO₂の回収が無くとも従来の発電プラントに対して競争力を高めるために、CCS（炭素回収貯留）の長所を利用することである。本発明によれば、CO₂の回収システムの電力消費は、周波数が不足している間の発電プラントの正味電力出力（D）のための制御パラメータとして使用される。これに関連して、例えば直接のCO₂圧縮機駆動の面に関する電気的電力消費、機械的電力消費、ならびに別のやり方では蒸気タービン内で電気エネルギーに転換できる生蒸気の消費は、CO₂の回収システムの電力消費としてみなされている。さらに不足周波数エクスカーションもしくは低周波数事象とも呼ばれる周波数が不足していることは、公称周波数より下の電力送電網の周波数の減少である。特に発電プラントの周波数応答容量は、電力を変更するためにCO₂の回収および圧縮設備の電力消費の高速変動を使用して改善され、発電プラントは周波数が不足している間に送電網に電力を供給することができる。

20

【0017】

本発明の真髓は、CO₂の回収システムの電力消費を低減するか、あるいはこのCO₂の回収システムを停止して、送電網の周波数の低下に対する反動として発電プラントの正味を増大させる発電プラント運転方法である。この発明の背景において、CO₂の回収システムは補助設備を全て備えた、圧縮ユニットを加えた完全なCO₂の回収ユニットとして定義される。この発電プラント運転方法により、発電プラントの現行の制御に加えて、補足柔軟性がもたらされる。この方法を用いて、CO₂の回収システムを発電プラントに統合したことにより、発電プラントの正味出力は周波数が不足している間に極めて高い比率で増大させることができ、部分負荷運転は全く必要とされず、周波数応答のための正味電力容量が保証される。高い比率の電力変動はCO₂の回収システムの電力消費の変化率を速くすること（fast gradients）により達せられる。従って発電プラントはベース負荷での最適な効率でもって、もしくはベース負荷に近い最適な効率でもって運転することができる。

30

【0018】

従来の発電プラントにおいて、発電プラントの総電力出力を増やすことにより、および発電プラントの補助設備あるいは寄生電力消費、および発電プラントのシステムのどれかを減らすことにより、発電プラントの正味出力は周波数が不足している間に対応して増大させることができる。総電力出力の増大は電力プラントのベース負荷に限定されている。さらに発電プラントの総電力出力を増大させることができる比率は、発電プラントの過度電流とイナーシャ時に生じる熱負荷のために限定されている。従来の発電プラントにおいて、さらにいずれの系あるいは補助設備の寄生電力消費を減らす可能性は極めて限定される。一般的に、蒸気あるいは複合発電プラントのための最大の消費設備は、供給水ポンプ、冷却水ポンプおよび冷却設備であり、これらは連続運転の間は電源を切ることができない。

40

【0019】

50

発電プラントの安全な連続運転には要求されない、CO₂の回収および圧縮の大きな電力消により、状況は変わり、かつ発電プラントに関する限界に直面することなく、正味電力の短時間でなされる過渡的変化のための新たな可能性が得られる。事実上、CO₂の回収システムの電力消費は発電プラントの正味電力出力のための制御パラメータとして使用することができる。特にCO₂の回収および圧縮のための電力消費は変えることができ、電力送電網の周波数応答要件を満たすために使用することができる。さらに周波数が不足していることに応じた発電プラントの高速過渡負荷を消費する長期間は回避でき、あるいはこの長時間は正味電力出力の変更が、CO₂の回収システムの電力消費を制御することにより対処されるとこの新たな設計概念により低減できる。

【0020】

10

CO₂の回収および圧縮による周波数応答の別の長所の一つは、予備周波数 (frequency reserve) のための容量がこれ以上全く使用できない場合に送電網により要求されるかもしれない発電プラントの容量を下げた運転を回避することである。間次第で、一部の発電プラントは、周波数が不足していることのための予備電力 (power reserve) を残しておくために、一部の負荷で、例えば90%の負荷で運転することを要求されるかもしれない。90%での運転により、効率は低下する恐れがあり、かつ生産されるMW_h当たりの資本と運転コストは上がる。ここでは、本発明により発電プラントが最適な効率でベース負荷で、あるいはほぼベース負荷で運転することができ、かつCO₂の回収システムの電力消費がオフになりかつ周波数応答のために使用されることがあったときでも、尚周波数が不足している間、固有の予備電力を有している。

20

【0021】

正味電力出力のための制御パラメータとしてのCO₂の回収システムを使用することの第一のアプローチにおいて、CO₂の回収およびCO₂の圧縮の設備あるいはその設備の主たる電力消費設備は、周波数が不足している間に簡単にスイッチが切れることがある。選択された技術とは独立して、CO₂の分離を停止させ、プラントを、CO₂を煙道ガスに排出する従来のプラントのように稼働させる。これによって、寄生電力需要を伴うCO₂圧縮が必要とならない。

【0022】

CO₂の回収および圧縮ユニットを単に停止あるいはさらには遮断させることは関係なく、CO₂の回収および圧縮設備の低減した容量に対する負荷軽減 (de load in g) あるいは部分負荷運転を周波数応答運転 (frequency response operation) のために提案する。低減される容量は、満足できるCO₂の回収率を達成するのに必要とされる容量以下のCO₂の回収システムの構成設備少なくとも一つを運転することにより実現できる。その結果、回収率は周波数応答時に低減される。

30

【0023】

周波数が不足していることは本当にまれに、かつ短時間にわたってしか起こらないので、この運転モードのために回収されないCO₂の蓄積量は一般に少量であり、かつ無視出来る。送電網に依存して、このような短時間のCO₂排出を導く周波数が不足していることは、数年に一度しか起こらず、かつほんの数分あるいは20~30分続くにすぎない。

【0024】

40

しかしながら、回収設備と圧縮ユニットの柔軟な運転により、CO₂の回収および圧縮による発電プラントの競争力は増す。従ってこれにより、単なるパイロットプラント計画を超えてこの種のプラントを競争力のある市場に早期に発表することができ、結果としてCO₂の排出は減少する。

【0025】

以下において、CO₂の吸収の例を用いてCO₂の回収及び圧縮による周波数サポートのための方法を説明する。この方法と以下に記載したその様々な変形はすべて、CO₂の吸収、吸収剤の再生および回収されたCO₂の圧縮を含むCO₂の回収方法のために同等に適用できる。

【0026】

50

CO₂回収及び圧縮処理の運転は、CO₂の吸収、吸収剤の再生及び回収したCO₂の圧縮から成るが、プラント運転の柔軟性を増大させる主な選択肢を三つ提供する。それらは、1つずつ、もしくは全て同時に実行することが出来る。それらは以下の通りである：

1. CO₂圧縮ユニットを停止、もしくは低減容量で運転させる。
2. 再生ユニットを停止、もしくは低減容量で運転させる。
3. 吸収ユニットを停止、もしくは低減容量で運転させる。

【0027】

第一の選択肢で既に寄生電力消費を大幅に減少させるが、大量の非圧縮CO₂は経済上保管出来ないため、非常に短期間にCO₂を大気中に放出することになる。従って回収したCO₂の一部あるいは全ては、例えば周波数が不足している間にはCO₂圧縮のバイパスを経由して放出できる。回収したCO₂の安全な処分に関しては、例えば、CO₂吸収ユニットの下流で煙道ガスと混合し、発電プラントのスタックを介して放出することが出来る。

【0028】

さらに大幅な寄生電力消費の低減が、第二の選択肢によって実現することが出来る。再生は、一般に吸収剤の「再沸騰」によって行うが、これは、CO₂を放出するために吸収剤を蒸気によって加熱することを意味する。そのため、蒸気はそれ以上電力生産のために利用出来ない。一旦ピーク電力需要の間に再生を停止させると、余分な蒸気を電力生産のために利用出来る。

【0029】

第三の選択肢もまた、吸収工程を停止させるかあるいは行なうものであるが、これにより補助設備の電力消費はさらに低減される。この電力消費の低減は、先の二つの選択肢において達成される節約より大幅に小さい。吸収ユニットに依存して、煙道ガスの一部もしくは全てはこの運転モード時に回収設備の周囲でバイパスされる。

【0030】

従来の配置における吸収剤は急速に飽和し、それ以上CO₂を回収出来なくなるため、吸収工程の運転自体は、さらなる対策なしには意味をなさない。しかしながら、吸収剤の貯留タンクの大きさに依存して、再生のないCO₂の回収とCO₂の圧縮は限定された期間の間は可能である。

【0031】

CO₂の回収と圧縮の遮断がシステムの負荷軽減に比べて極めて速くかつ安全である場合が多いので、システムの少なくとも一部の遮断をプラントの負荷制御と組合せることを提案する。システムの少なくとも一部が遮断されると、結果としての正味電力出力は周波数応答に関するものに比べて大きいことがある。この場合、プラントの総電力出力は、従来のプラント制御を用いて低減でき、送電網毎に要求される適正な正味電力出力は保証される。

【0032】

CO₂の回収システムの構成設備の停止に加えて、構成設備の部分負荷運転が可能である。例えばCO₂の圧縮ユニットの質量流は入口案内翼のような制御手段により低減できる。二つあるいはそれ以上の平行な圧縮機トレインを含む圧縮ユニットの場合、少なくとも一つの圧縮機の停止により、CO₂の圧縮ユニットの電力消費が低減するのも明白である。フル容量で運転している二つの平行な圧縮機トレインの場合、圧縮機トレインの一方の停止により、50%分だけ電力消費は減り、同様に回収したCO₂の50%が圧縮でき、かつ一般に煙突までバイパスされることを示す。代替えとして、再吸収率を低減することができる。このことは例えば再生ユニットを流れる吸収剤流を低減することにより、そして残留している流れをバイパスし、さらに前記2つの流れが吸収ユニットに入る前に二つの流れを混合することにより達せられる。流れの一部だけが再生ユニットを通過する、再生に必要とされる蒸気は低減し、余分な蒸気は電力生産に使用できる。再生された吸収剤を再生されない吸収剤を混合した結果として、CO₂を吸収するための結果としての混合は低減し、低割合のCO₂は煙道ガスから回収され、より少ないCO₂は再生ユニット

10

20

30

40

50

トの圧縮のために放出される。最初にCO₂を回収し、次いでバイパスするのではありませんので、回収システムの構成設備全ての容量を同時に低減することを提案する。

【0033】

周波数が不足している間に、再生せずにもしくは吸収剤を低減した容量で再生せずに、吸収ユニットを運転するための別の可能性は、この周波数が不足している間にCO₂のために貯留した吸収剤を使用することである。

【0034】

限界的送電網状況が生じた場合、周波数が限界の敷居値以下に落ちる前に、指令センターからの信号がCO₂の回収システムの電力消費の上記低減をすでに開始することができ、従って送電網を安定化させるのに役立つ。

10

【0035】

CO₂回収システムの異なる制御方法が可能である。一実施例は、CO₂回収システムの異なる構成設備の開ループ制御である。これは特に、異なる構成設備のON/OFF制御のみを使用する場合に適している。

【0036】

また開ループ制御は、CO₂回収システムの連続的な電力消費制御、つまり、異なる構成設備のON/OFFの切り替えによる電力出力における急な段階のない制御を実現する、より高度な運転処理にも考えられる。この実施例では、CO₂回収システムの連続的な電力消費制御は、一度に1つの構成設備の電力消費を変化させることによって実現され、一方、残りの構成設備は、一定の負荷で動作する。しかしながら、閉ループ制御は、例えば、過渡的な運転もしくは変動する境界条件下での運転で有利であることがある。

20

【0037】

異なる構成設備の低減容量での運転が予測される場合、閉ループ制御は、負荷分布のさらなる最適化を可能にする。これは特に、CO₂回収率の制御を実行する場合、有利である。この場合、CO₂回収システムの電力消費は、一度に1つの構成設備を制御することによっては変化せず、一方、残りの構成設備は、一定の負荷で動作する。異なる構成設備の容量の低下は、協調させねばならない。このため、各構成設備の現在の動作条件のフィードバックは有利であり、閉ループ制御が好ましい。

【0038】

30

本発明の別の課題は、CO₂回収システムによるカーボンベースの燃料を燃焼させるための火力発電プラントであり、このプラントは上記の周波数応答方法に従った運転のために設計されている。相応したCO₂回収システムにより高速のシステム負荷軽減（deadling）が可能になっている。

【0039】

本発明の一実施例は、カーボンベースの燃料を燃焼させている発電プラントであり、この発電プラントは少なくとも一つの煙道ガス流を有している。本発明による発電プラントは、電力発生に関して知られている従来の設備に加えて、煙道ガス流からCO₂を除去するためのCO₂回収ユニットとCO₂圧縮ユニットを備えている。CO₂回収ユニットは、煙道ガス流からCO₂を除去する回収設備、CO₂を吸収剤から取除くための再生ユニット、吸収剤あるいは煙道ガスからのCO₂を結合するための他の手段、そして搬送に関してCO₂の状態を調節するための処理システムを備えているのが一般的である。圧縮ユニットはCO₂を圧縮するための少なくとも一つの圧縮機から成る。さらに圧縮ユニットは、圧縮時および/または圧縮後、圧縮されたCO₂を再冷却するための少なくとも一つの冷却装置あるいは熱交換器から成っているのが一般的である。

40

【0040】

提案された運転構想により運転を可能にするために、発電プラントの蒸気タービンは、最大蒸気流を、CO₂回収ユニットのスイッチを切った状態で発電プラントにより生産されるエネルギーに転換するように設計されている。

【0041】

50

別の実施例において、発電機と電気システムはCO₂回収ユニットのスイッチを切った状態で生産される最大パワーを電力に転換し、この電力を送電網に送るように設計されている。

【0042】

このような発電プラントを上記のように運転するのを容易にするために、発電プラントはさらにCO₂圧縮機のバイパスを備えていてもよく、このバイパスはCO₂を安全に出すことができ、例えばCO₂回収ユニットの煙道ガススタック下流部に案内する。

【0043】

別の実施例において、CO₂回収ユニット、例えば吸収ユニットは運転中ではない場合にでも煙道ガスに耐性があるように設計されている。

10

【0044】

代替えとして、CO₂回収ユニットのバイパスを見越してもよく、このバイパスによりCO₂回収ユニットとは独立した発電プラントを運転することができる。さらにこのバイパスは発電プラントの操業を始めたり、あるいは停止したりするのに有利なだけでなく、CO₂回収システムのメンテナンス時の発電プラントの運転にも有利である。

【0045】

他の実施例において、一定の期間CO₂吸収材を供給するために採寸された貯留タンクが設けられており、この貯留タンクによりCO₂の圧縮と再吸収が周波数が不足している間に止まった場合にでも連続的なCO₂の回収が可能となる。

20

【0046】

CO₂回収システムが複雑なシステムであると、上記の様々な制御方法に関して論議されるような適切な制御システムが要求される。この制御システムは発電プラントの電力制御に依存しているかあるいは影響を与えている。電力制御は発電プラント制御システムの真髄の部分なので、CO₂回収システムの制御を発電プラント制御システムに集約するか、あるいは発電プラント制御システムによりCO₂回収システムの制御を調整し、かつ関連があるデータラインをすべて発電プラント制御システムに接続することが長所である。発電プラントが幾つかのユニットから成り、発電プラント制御システムが発電プラント制御装置とユニットマスタ制御装置から成る階層制の構造を有していると、このようにCO₂回収システムの制御を各ユニットのマスタ制御装置に統合するかあるいは一元化することが有利である。

30

【0047】

代替えとして、CO₂回収システムは、それ専用の制御装置を有し、制御装置は直接のデータリンクを介してプラント制御システムに接続されている。プラント制御システムもしくはユニットの主制御装置は、少なくとも1つの信号をCO₂回収プラントの制御装置に送信せねばならない。この信号は、例えば、指令された電力消費信号であるか、もしくは指令された回収率であってもよい。

【0048】

上記の場合では、CO₂回収制御装置は、必ずしも1つのハードウェア装置ではなく、1つ以上の制御装置によって協調させる駆動装置とグループ制御装置に分散化することが出来る。

40

【0049】

CO₂回収システムの制御を発電プラント制御システムによって協調させる場合、高レベルな制御装置は、例えば、指令された質量流量の合計をCO₂圧縮ユニットのグループ制御装置に送信することが出来、実際の質量流量の合計を、このグループ制御装置からの入力として受信することが出来る。この実施例における圧縮ユニットは、数列の圧縮機を含む。圧縮機の各列は、それ専用の装置制御装置を有する。グループ制御装置は、異なる圧縮機列における指令されたCO₂圧縮質量流量の合計のもっと良い分布方法を決定するアルゴリズムを有し、指令された質量流量を圧縮機各列の装置制御装置に送信する。代わりに、グループ制御装置は、圧縮機各列の実際のCO₂圧縮質量流量を取得する。圧縮機各列の装置制御装置は、より低いレベルで従属する制御装置で再び作動することが出来る

50

。

【0050】

同種の階層を、CO₂回収システムの全ての構成設備の制御に適用することが出来る。

【0051】

本発明、本発明の本質ならびに長所を、添付した図を利用して以下に詳細に説明する。

【図面の簡単な説明】

【0052】

【図1】CO₂の回収および圧縮を用いた発電プラントの概略図である。

【図2】周波数が不足している際の応答がなされる間の、CO₂の回収および圧縮のための柔軟な運転方法による発電プラントのための電力出力変動を概略的に示した図である。 10

【図3】発電プラントの総出力の補正と組合せた状態の、周波数が不足している際の応答がなされる間の、CO₂の回収および圧縮のための柔軟な運転方法による発電プラントのための電力出力変動を概略的に示した図である。

【図4】送電網のさらなる正味電力要求値がCO₂の回収及び圧縮システムの中止(trip)により満たされた、CO₂の回収および圧縮のための柔軟な運転方法による発電プラントのための電力出力変動を概略的に示した図である。

【発明を実施するための形態】

【実施例】

【0053】

提案された方法を実行するための発電プラントは、主としてCO₂の回収ユニット2とCO₂の圧縮ユニット9を加えた従来発電プラント1から成る。 20

【0054】

燃焼後回収における代表的な配置を、図1に示す。発電プラント1には、空気3及び燃料4が供給される。その主出力は、プラント総電力A及び煙道ガス15である。さらに、蒸気をプラント1から抽出し、蒸気管路13及び蒸気制御弁14を介してCO₂回収ユニット2に供給する。蒸気は、低下した温度で、もしくは凝縮物として、戻り管路6を介してプラント1へ戻され、そこで蒸気サイクルへ再導入される。CO₂回収ユニット2は一般に、CO₂を煙道ガスから吸収剤によって除去するCO₂吸収ユニット、及びCO₂を吸収剤から放出する再生ユニットから成る。煙道ガスの温度及びCO₂吸収ユニットの運転温度範囲によっては、煙道ガス冷却器が必要な場合もある。 30

【0055】

CO₂を除去された煙道ガス16は、CO₂回収ユニットからスタックへ放出される。CO₂回収ユニット2が動作していない場合、煙道ガスバイパス11を介してバイパスさせることが出来る。

【0056】

通常の運転では、回収したCO₂は、CO₂圧縮機9内で圧縮され、圧縮されたCO₂10は、貯留するため、もしくはさらに処理を行うため先に送られる。

【0057】

CO₂回収ユニット2の補助設備を駆動するために電力7が必要であり、CO₂圧縮機9を駆動するために電力8を使用する。従って、送電網Dへの正味電力出力は、プラント補助設備17用の電力によって減少し、CO₂圧縮ユニット8用の電力によって減少し、またCO₂回収ユニット7用の電力によって減少した総プラント出力Aである。 40

【0058】

また、発電プラントの制御によってCO₂回収及び圧縮に必要な追加の構成設備の制御を統合した、対応する制御システム18を図1に示す。制御システム18は、発電プラント1との少なくとも一本の必要な制御信号22線を有し、CO₂圧縮ユニット9との少なくとも一本の制御信号線を有する。さらに、煙道ガスバイパス11を含むCO₂回収ユニット2との少なくとも一本の制御信号線19を表示する。回収ユニット2が吸収もしくは吸着を基本原理としている場合、再生ユニットはシステムの一部であり、対応して、再生ユニットへの少なくとも1つの信号線20を必要とする。また回収ユニット2が、吸着剤 50

/ 吸収剤 2 1 用の少なくとも 1 つの貯留タンクを含む場合、貯留システムへの制御信号線を必要とする。蒸気 1 3 を再生に使用する図示の実施例では、蒸気制御弁 1 4 を、制御信号線 2 4 を介して制御する。この制御線は、回収ユニット 2 の一部である再吸収ユニットに接続されているか、もしくは制御システム 1 8 に直接接続されている。

【 0 0 5 9 】

正味電力 D の制御は二つの例を使用しながら説明される。正味電力 D の増加は、構成部分がすべてフル運転する運転点から始まる周波数応答のために必要とされる。

【 0 0 6 0 】

単純なアプローチでは、まず、CO₂ 圧縮機ユニット 9 の電力消費を制御して低下させることによって、正味出力 (D) を増大させる。圧縮機ユニット 9 の電力消費電力消費が低下すると、CO₂ 再生ユニット 2 から放出される CO₂ の量が一定となる。結果的に、CO₂ 流の一部は、CO₂ 圧縮ユニットバイパス 1 2 を通って CO₂ 圧縮機ユニット 9 をバイパスさせねばならない。一度 CO₂ 圧縮機ユニット 9 が完全にオフにされると、CO₂ 再生ユニットの電力消費が低下するよう制御することによって、正味出力 D が増大する。最終的には、CO₂ 再生ユニットが完全にオフにされた場合、CO₂ 吸収ユニット及び、該当する場合は、煙道ガス冷却器の電力消費を低下するよう制御することで、正味出力 D が増大する。CO₂ 吸収ユニット 2 が空になるように設計されていない場合、つまり、吸収剤を流し、及び / もしくは煙道ガスの冷却を追加で行わないと、CO₂ 吸収ユニットを煙道ガス 1 5 に暴露することが出来ない場合、CO₂ 回収ユニット 2 用の煙道ガスバイパス 1 1 は、吸収ユニットに利用可能な電力の機能として開くようになっていなければならない。

【 0 0 6 1 】

より高度なアプローチでは、CO₂ 回収ユニット 2 及び圧縮ユニット 9 の全ての構成設備の電力消費が低下するよう制御し協調させることによって、正味出力 D を増大させる。目的は、電力消費が低下した状態での CO₂ 回収率を最大にすることである。この目的のため、全ての構成設備の容量を同時に同じ率で低下させ、全ての構成設備を通る CO₂ 流は同じにする。そのため、電力消費は回収率の関数として変化する。異なる構成設備の流量が確実に一致するようにするために、これらの構成設備からのフィードバックが必要であり、閉ループ制御は有利である。非常に低い回収率では、また、CO₂ 吸収ユニット 2 が空になるように設計されていない場合、例えば、吸収剤を流し、及び / もしくは煙道ガスの冷却を追加で行わないと、CO₂ 吸収ユニットを煙道ガス 1 5 に暴露することが出来ない場合、CO₂ 回収ユニット 1 1 用の煙道ガスバイパスは、吸収ユニット 2 に利用可能な電力の機能として開かねばならない。

【 0 0 6 2 】

発電プラントの電力出力に関する CO₂ の回収システムの主要電力消費設備の影響が図 2 および 4 に示してある。さらに発電プラントの補助設備の電力消費の影響はそれ自体これらの図に示されている。

【 0 0 6 3 】

図 2 には、CO₂ の回収および圧縮を用いた発電プラントの最適化された運転方法による、周波数が不足していることに関する事例が長い時間をかけて示してある。時間 T = 0 秒において、発電プラント は CO₂ の回収および圧縮システムが運転中の状態にあるベースロードで通常の運転中である。電力プラント の新しい電力出力 D に関する CO₂ の回収システムのプラント補助設備と主たる電力消費設備の影響は、発電プラントの異なる段階での相対出力 P_r を表示することにより示してある。この図で示した電力出力は全て、再吸収のための抽気を伴うベース負荷におけるプラントの総電力出力 A により正常化されている。A' は再吸収のための抽気が無い総電力出力である。B はプラント補助設備により低減した総電力出力である。C は B が CO₂ の圧縮によりさらに低減した後の総電力出力である。D は C が電力消費により低減した後の結果として生じたプラントの正味電力出力である。正常化された送電網の周波数 F_G は定格の送電網の周波数により正常化された周波数であり、一般的に 50 Hz あるいは 60 Hz である。

10

20

30

40

50

【0064】

提案された運転方法によれば、BからCおよびCからDへの電力低減、ならびにAからA'への総電力の増大は、周波数が不足している間の正味電力出力を制御するために使用される。この事例において、正味電力Dは、20から30秒までの期間の間に正常化された送電網の周波数 F_G が100から99.8%に落ちる時に一定に保たれる。なぜなら制御装置が設計の周波数からの逸脱に対して反応しない0.2%の不感帯域を有しているからである。周波数が $T = 35$ 秒で99.3%に落ち続けると、周波数応答は活発になり、正味電力出力Dは $T = 30$ 秒と $T = 35$ 秒の間でCO2の圧縮の制御された運転停止により増大する。正常化された送電網の周波数 F_G が $T = 35$ 秒と $T = 40$ 秒の間に98%まで落ち続けると、CO2再生はさらに停止され、蒸気はそれ以上再吸収のために抽出されない。従って、総電力はAからA'まで増大し、正味電力出力Dはそれに応じて落ちる。正味電力出力Dを増大させるための最終工程において、CO2の吸収は $T = 40$ 秒と $T = 45$ 秒の間で停止され、周波数 F_G は97.5%で安定する。

10

【0065】

図3において、CO2の回収および圧縮を用いた発電プラントの最適化された運転方法による周波数が不足している間を時間外で示した。 $T = 0$ 秒の際に、発電プラントは運転にあたりCO2の回収および圧縮によるベース負荷で正常運転状態にある。

【0066】

この事例において、正常化された送電網の周波数 F_G は $T = 20$ 秒と $T = 30$ 秒の期間の間に100%から99.8%に落ちる。0.2%の不感帯域のために、30秒までは何の制御動作も起こらない。周波数が $T = 30$ 秒と $T = 35$ 秒の間に99.3%まで落ち続けると、正味電力出力Dは周波数応答として、CO2の圧縮の制御された停止により増大する。正常化された送電網の周波数 F_G は $T = 35$ 秒と $T = 40$ 秒の間に97.8%まで落ち続けるので、CO2再生はさらに停止され、蒸気はそれ以上再吸収のために抽出されない。従って、総電力はAからA'まで増大し、正味電力出力Dはそれに応じて落ちる。 $T = 40$ 秒と $T = 45$ 秒の間で正常化された送電網の周波数 F_G は98%まで回復し、正味電力Dは総電力A'の低減により減り、周波数が不足していることに相当している送電網の正味電力要求を満たす。同時に正常化された送電網の周波数 F_G は98%で安定する。

20

【0067】

30

図4は周波数が不足している際の応答がなされる間のCO2の回収および圧縮のための柔軟な運転方法による発電プラントの電力出力のばらつきのための第三の事例を示している。この事例において、送電網の別の正味電力要求がCO2の回収および圧縮システムの構成設備の突然の停止により満たされる。

【0068】

さらに、 $T = 0$ 秒で、発電プラントは運転にあたりCO2の回収および圧縮によるベース負荷で正常運転状態にある。正味プラント電力出力Dに関するCO2の回収および圧縮システムの補助設備と主たる消費設備の影響は、発電プラントの様々な工程において相対出力 P_r を知らせることにより示してある。この図で示した電力出力はすべて、再吸収のための抽気によるベース負荷においてプラント総電力出力Aにより正常化されている。A'は再吸収のための抽気が無い総電力出力である。Bはプラント補助設備により低減した総電力出力である。CはBがCO2の圧縮によりさらに低減した後の総電力出力である。DはCが電力消費により低減した後の結果として生じたプラントの正味電力出力である。

40

【0069】

0.2%の不感帯域を呈していて、正味出力Dが正常化された送電網の周波数として一定であると、 F_G は $T = 20$ 秒と $T = 30$ 秒の期間の間に100から99.8%まで落ちる。周波数の逸脱が0.2%を一度超えると、周波数応答は活発になり、正味出力Dは $T = 30$ 秒でCO2の圧縮の突然の停止あるいは中断により増大する。それ以上の制御動作は全く起こらないが、周波数 F_G は $T = 35$ 秒で99%まで落ち続ける。正常化された送電網の周波数 F_G が99%まで落ち続けると、CO2の再生はさらに中断(trip)さ

50

れ、蒸気はそれ以上再吸収のために抽出されない。従って、総電力は A から A' まで増大し、正味電力出力 D はそれに応じて増大する。それ以上の制御動作は何も起こらないが、周波数 F_G は $T = 35$ 秒と $T = 40$ 秒の間で 98 % まで落ち続ける。正味電力出力 D を増大させるための最終工程において、正味周波数が一度 $T = 40$ 秒で 98 % まで落ちると、CO₂ の吸収は中断される。さらに正味周波数 F_G は安定すると 97.5 % に落ちる。

【0070】

先に記載されかつ図に示した好適な実施例は、当業者に対しては、好適実施例とは異なつていてかつ本発明の範囲内に含まれている実施例を開示している。

【0071】

低温の CO₂ を分離する場合に、あるいは上昇した圧力レベルでの吸収の場合に使用されるような、煙道ガスを再圧縮するために使用される電力を、電力に関する高い要求がある時間に節約するかあるいは低減することができる。もしくは冷却アンモニアを用いて CO₂ を分離する場合に、周波数が不足している間に 冷却電力を節約するかあるいは低減することができる。さらに方法および CO₂ の圧縮が無い相当する発電プラントも想到可能である。

10

【0072】

ここで与えられた事例において、送電網の周波数の低下と制御動作の間の時間差を示してある。測定速度、信号の伝送速度および制御装置の速度次第で、秒のオーダー内にある著しい時間の遅延がありえる。

【0073】

20

さらにガスタービンベースの発電プラントにおいて、あるいは組合せた発電プラントにおいて、対策が全くとられていないと、周波数が不足していることにより、ガスタービンの総電力出力が減ってしまうことになる。一般的に設計温度を超えた高いガス温度の上昇である過大加熱は、ガスタービン内の周波数応答のために行なわれる。周波数応答のための標準的な対策は、CO₂ の回収および圧縮を用いた発電プラントのために記載された特徴と組合せることができる。

【符号の説明】

【0074】

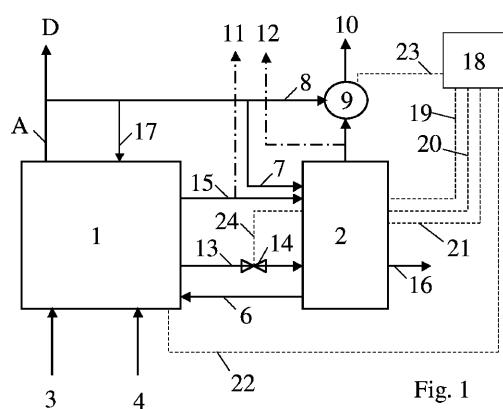
1	発電プラント	
2	CO ₂ の回収ユニット	30
3	空気	
4	燃料	
6	戻り管	
7	CO ₂ の回収ユニットのための電力	
8	CO ₂ の圧縮ユニットのための電力	
9	CO ₂ の圧縮	
10	圧縮された CO ₂	
11	CO ₂ の回収ユニットのための煙道ガスバイパス	
12	CO ₂ の圧縮ユニットバイパス	
13	CO ₂ の回収ユニットへの蒸気	40
14	蒸気制御弁	
15	CO ₂ の回収ユニットへの煙道ガス	
16	CO ₂ を除去された煙道ガス	
17	CO ₂ の回収および圧縮は除外した、発電プラントの補助設備のための電力	
18	制御システム	
19	CO ₂ の回収ユニットおよび煙道ガスバイパスとの制御信号交換	
20	再生ユニットとの制御信号交換（該当する場合）	
21	吸収剤 / 吸着剤貯留システムとの制御信号交換（該当する場合）	
22	総電力及び正味電力を含む CO ₂ 回収を行わない従来の発電プラントに関する発電プラント制御信号の交換	50

2 3 CO₂圧縮ユニット及び圧縮機バイパスとの制御信号交換
 2 4 制御システムから直接来る、もしくは再生ユニットを介して来る蒸気制御弁への制御信号の交換（該当の場合）

- A CO₂再吸収用の蒸気抽気を伴うプラントの総電力出力
 A' CO₂再吸収用の蒸気抽気を伴うプラントの総電力出力
 B CO₂回収及び圧縮がなしでプラント補助設備によって低減されたA
 C 送電網の電力需要によって変化する、CO₂圧縮用の所要電力によって低減されたB。
 D CO₂回収プラントの正味電力出力（送電網の電力需要によって変化する、吸収用の所要電力によって低減されたC）
 F G 正常化された送電網の周波数

10

【図1】



【図3】

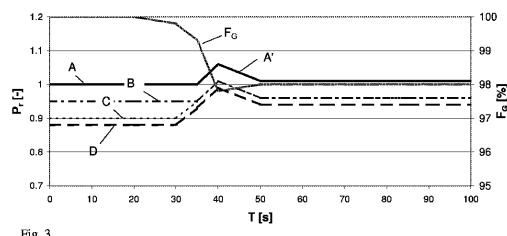


Fig. 3

【図2】

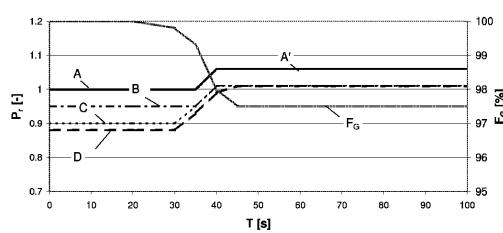


Fig. 2

【図4】

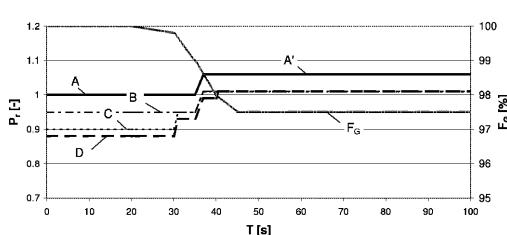


Fig. 4

フロントページの続き

(72)発明者 ブラッター・リヒャルト
スイス連邦、8200 シャッフハウゼン、ピルガーヴェーク、11

(72)発明者 ドレニク・オリヴィエ
フランス共和国、90000 ベルフォール、リュ・ドゥ・ジエルブヴィエ、2ビス

(72)発明者 ナーゲル・ホルガー
ドイツ連邦共和国、70188 シュトゥットガルト、ヘシュレヴェーク、35

合議体

審判長 大橋 賢一

審判官 永田 史泰

審判官 中澤 登

(56)参考文献 特開平5-98910 (JP, A)
再公表特許第2007/094054 (JP, A1)
特開2004-320874 (JP, A)
特開2001-186651 (JP, A)
特開2005-230808 (JP, A)
特開2004-85099 (JP, A)
特開2002-79052 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B01D53/34

F01K1/00-27/02